不同锌源及水平对生长肥育猪血清酶活性和组织器官锌沉积量的影响

牛现琇　杨维仁*　黄丽波　张崇玉　薛　峰　孙　静

（山东农业大学动物科技学院，泰安 271018）

摘　要：本试验旨在研究不同锌源[蛋氨酸锌（Zn-Met）或硫酸锌（$ZnSO_4$）]及水平对生长肥育猪血清酶活性和组织器官锌沉积量的影响。选用体重[（33.70±2.76） kg]相近的“杜×长×大”生长肥育猪32头，随机分成4组，每组8个重复，每个重复1头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中分别添加40 mg/kg Zn-Met、40 mg/kg $ZnSO_4$和80 mg/kg $ZnSO_4$（以锌元素计）。预试期7 d，正试期72 d，分30~60 kg和61~90 kg 2个阶段。结果表明：1）与对照组相比，饲粮添加40 mg/kg Zn-Met显著降低了生长肥育猪血清谷丙转氨酶（ALT）、谷草转氨酶（AST）和乳酸脱氢酶（LDH）活性（$P<0.05$），显著提高了血清碱性磷酸酶（ALP）活性（$P<0.05$）；饲粮添加40 mg/kg $ZnSO_4$显著降低了血清ALT和LDH活性（$P<0.05$）；饲粮添加80 mg/kg $ZnSO_4$显著降低了血清ALT活性（$P<0.05$），显著提高了血清ALP活性（$P<0.05$）。40 mg/kg Zn-Met组生长肥育猪血清ALT、AST和LDH活性最低，血清ALP活性最高。2）与对照组相比，饲粮添加40 mg/kg Zn-Met显著提高了生长肥育猪血清锌含量（$P<0.05$），40 mg/kg Zn-Met组血清锌含量最高。3）与对照组相比，饲粮添加40 mg/kg Zn-Met或40、80 mg/kg $ZnSO_4$对生长肥育猪脾脏、胰脏、毛和肌肉锌沉积量均无显著影响（$P>0.05$），但显著提高了肝脏和骨锌沉积量（$P<0.05$）。综上所述，饲粮添加40 mg/kg Zn-Met或40、80 mg/kg $ZnSO_4$可改善生长肥育猪血清酶活性、血清锌含量及肝脏和骨锌沉积量。本试验条件下，生长肥育猪饲粮添加40 mg/kg Zn-Met为宜。

收稿日期：2017-09-08
基金项目：山东省现代农业产业技术体系生猪创新团队专项资金（SDAIT-08-05）
作者简介：牛现琇（1989-），女，山东临沂人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: 18315481581@163.com
*通信作者：杨维仁，教授，博士生导师，E-mail: wryang@sdau.edu.cn

关键词：有机锌；生长肥育猪；血清酶活性；锌沉积量

中图分类号：S828

锌是动物机体重要的微量元素之一，是碱性磷酸酶（ALP）、乳酸脱氢酶（LDH）、碳酸酐酶、羧肽酶等酶的组成成分或激活剂，锌以这些酶的形式参与体内多种代谢反应[1-4]。自1989年丹麦科学家发现饲粮添加高剂量无机锌对断奶仔猪有减少腹泻、提高日增重的作用以来，饲粮中锌的添加量日渐增高。但无机锌在肠道中易与饲粮中的钙、植酸及植酸类等拮抗因子形成不溶化合物，导致其无法被动物机体有效吸收利用，从而造成环境污染[5-6]。大量研究表明，氨基酸螯合锌的生物学利用率高、稳定性好、生物效价高[5,7-9]。目前，研究主要以生长性能、血清酶活性和组织器官锌沉积量为评价指标确定饲粮锌的适宜添加水平，且多集中在家禽和肉兔方面[10-13]。我国是世界上最大的肉类生产国和消费国，猪肉产量占肉类总产量的65%左右，养猪业在国民经济中占重要地位。减少养猪业中锌的超量添加，降低生长肥育阶段锌的使用量，寻求新的资源是我国养猪业亟待解决的问题。本试验旨在研究不同锌源［蛋氨酸锌（Zn-Met）或硫酸锌（$ZnSO_4$）］及水平对肥育生长猪血清酶活性和组织器官锌沉积量的影响，为猪生长肥育阶段饲粮锌的适宜添加水平提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

Zn-Met：由山东隆信饲料有限公司提供，锌含量 17.20%，螯合度 95%。饲料级 $ZnSO_4$：由山东隆信饲料有限公司提供，含一个结晶水，锌含量 34.50%。

1.2　试验设计及饲粮

试验选用体况良好、体重[（33.70±2.76） kg]接近的“杜×长×大”三元杂交生长肥育猪 32 头，随机分成 4 组，每组 8 个重复，每个重复 1 头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中分别添加 40 mg/kg Zn-Met、40 mg/kg $ZnSO_4$ 和 80 mg/kg $ZnSO_4$（以锌元素计）。基础饲粮根据 NRC（2012）猪营养需要配制，其组成及营养水平见表 1。预试期 7 d，正试期

72 d。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet（air-dry basis）　%

项目 Items	试验阶段 Trial period	
	30~60 kg	61~90 kg
原料 Ingredients		
全株玉米 Whole plant corn	10.00	15.00
玉米 Corn	59.00	57.71
豆粕 Soybean meal	23.39	20.00
麸皮 Wheat bran	2.00	2.00
豆油 Soybean oil	2.50	2.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.09	0.98
石粉 Limestone	1.09	0.98
食盐 NaCl	0.31	0.28
预混料 Premix[1)]	0.29	0.26
蛋氨酸 Met	0.09	0.08
赖氨酸 Lys	0.16	0.14
苏氨酸 Thr	0.08	0.07
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
消化能 DE/(MJ/kg)	13.88	13.77
粗蛋白质 CP	15.94	14.65
粗纤维 CF	4.23	4.89
钙 Ca	0.50	0.45
总磷 TP	0.52	0.47
锌 Zn/(mg/kg)	28.10	33.38

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：30~60 kg 阶段 30 to 60 kg period，VA 1 300 IU，VD 150 IU，VE 11 IU，VK 0.50 mg，生物素 biotin 0.05

mg，叶酸 folic acid 0.30 mg，泛酸 pantothenic acid 8.00 mg，核黄素 riboflavin 2.50 mg，VB_1 1.00 mg，VB_6 1.00 mg，VB_{12} 10.00 μg，氯化胆碱 choline chloride 0.4 g，Cu (as copper sulfate) 4.00 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60.00 mg，Mn (as manganese sulfate) 2.00 mg，I (as potassium iodide) 0.14 mg，Se (as sodium selenite) 0.20 mg；61~90 kg 阶段 61 to 90 kg period，VA 1 300 IU，VD 150 IU，VE 11 IU，VK 0.50 mg，生物素 biotin 0.05 mg，叶酸 folic acid 0.30 mg，泛酸 pantothenic acid 7.00 mg，核黄素 riboflavin 2.00 mg，VB_1 1.00 mg，VB_6 1.00 mg，VB_{12} 5.00 μg，氯化胆碱 choline chloride 0.3 g，Cu (as copper sulfate) 3.50 mg，Fe (as ferrous sulfate) 50.00 mg，Mn (as manganese sulfate) 2.00 mg，I (as potassium iodide) 0.14 mg，Se (as sodium selenite) 0.15 mg。

[2)]锌为测定值，其余营养水平为计算值。Zn was a measured value, while others nutrient levels were calculated values.

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长性能指标的测定

每周准确记录生长肥育猪的喂料量和余料量，计算每头猪的平均日采食量（ADFI）；生长肥育猪每2周空腹称重，计算每头猪的平均日增重（ADG）；根据ADFI和ADG计算料重比（F/G）。

1.3.2 血清酶活性和锌含量的测定

分别于试验 30~60 kg 阶段第 15 天和 61~90 kg 阶段第 20 天，06:00（晨饲前）对 32 头生长肥育猪前腔静脉采血 5 mL，3 000 r/min、4 ℃离心 10 min，分离血清，-20 ℃冰箱内保存，备测血清酶活性和锌含量。采用全自动血液分析仪（KX–21，希森美康集团，日本）测定血清中的谷丙转氨酶（ALT）、谷草转氨酶（AST）、ALP 和 LDH 活性。血清样品使用微波消解仪 MARS 6（CEM 公司，美国）进行样品前处理，消解溶液用 Agilent 7900 电感耦合等离子体质谱仪测定血清锌含量。

1.3.3　组织器官锌沉积量的测定

试验结束当天，每个重复中随机选取3头健康肥育猪，肥育猪电击致死后放血。取肝脏、脾脏、胰脏，所有待测样品使用微波消解仪MARS 6（CEM公司，美国）进行样品前处理，消解溶液用Agilent 7900电感耦合等离子体质谱仪测定器官锌沉积量。

取猪前右蹄热压处理（120 ℃）20 min，去除肌肉和结缔组织后分离第4掌骨，粉碎后于烘箱中75 ℃烘干至恒重，经室温回潮24 h后用于测定骨锌沉积量。

在试验结束当天，用陶瓷剪刀取猪毛5 g左右，用于测定毛锌沉积量。

取背最长肌、肱二头肌、肩颈肉和肋腹肉于烘箱中65 ℃下烘干至恒重，经室温潮24 h后用研钵碾碎，用于测定肌肉锌沉积量。

1.4　数据统计

试验数据采用SAS 9.2软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，Duncan氏法进行多重比较，P<0.05为差异显著。

2　结果与分析

2.1　不同锌源及水平对生长肥育猪生长性能的影响

不同锌源及水平对生长肥育猪生长性能的影响均不显著（P>0.05）。本试验生长肥育猪平均始重为（33.70±0.50） kg，平均末重为（88.09±2.12） kg；30~60 kg阶段的ADFI为（1 724.94±26.84） g/d，ADG为（716.84±29.15） g/d，F/G为2.42±0.14；61~90 kg阶段的ADFI为（2 365.13±58.46） g/d，ADG为（643.62±41.41） g/d，F/G为3.70±0.25。

2.2　不同锌源及水平对生长肥育猪血清酶活性的影响

不同锌源及水平对生长肥育猪血清酶活性的影响见表2。由表可知，与对照组相比，饲粮添加40 mg/kg Zn-Met显著降低了生长肥育猪血清ALT、AST和LDH活性（P<0.05），显著提高了血清ALP活性（P<0.05）；饲粮添加40 mg/kg $ZnSO_4$显著降低了血清ALT和LDH活性（P<0.05）；饲粮添加80 mg/kg $ZnSO_4$显著降低了血清ALT活性（P<0.05），显著提高了血

清ALP活性（$P<0.05$）。试验组生长肥育猪血清ALT、AST和LDH活性由低到高依次为40 mg/kg Zn-Met组、40 mg/kg $ZnSO_4$组和80 mg/kg $ZnSO_4$组，以40 mg/kg Zn-Met组血清ALT、AST和LDH活性最低，血清ALP活性最高。

表2　不同锌源及水平对生长肥育猪血清酶活性的影响

Table 2　Effects of different zinc sources and levels on serum enzyme activities of growing-finishing pigs　　U/L

试验阶段 Trial period	项目 Items	组别 Groups 对照 Control	40 mg/kg Zn-Met	40 mg/kg $ZnSO_4$	80 mg/kg $ZnSO_4$	P 值 P-value
30~60 kg	谷丙转氨酶 ALT	55.33±5.13[a]	42.83±2.40[b]	46.33±1.21[b]	46.50±4.54[b]	0.007
	谷草转氨酶 AST	42.17±3.54[a]	33.83±4.06[c]	36.50±4.42[bc]	40.25±2.92[ab]	0.005
	碱性磷酸酶 ALP	121.00±10.05[b]	154.00±10.05[a]	124.88±15.03[b]	145.71±5.84[a]	<0.001
	乳酸脱氢酶 LDH	585.43±11.57[a]	482.57±24.30[c]	532.38±24.61[b]	538.25±29.83[b]	<0.001
61~90 kg	谷丙转氨酶 ALT	77.33±6.82[a]	58.33±3.48[c]	64.00±4.80[bc]	67.17±5.23[b]	<0.001
	谷草转氨酶 AST	34.40±0.49[a]	30.20±1.72[b]	32.00±3.16[ab]	35.00±3.38[a]	0.011
	碱性磷酸酶 ALP	93.88±3.71[b]	122.71±8.61[a]	122.50±5.51[a]	116.38±20.94[a]	<0.001
	乳酸脱氢酶 LDH	299.33±4.16[a]	252.17±17.26[b]	269.50±23.45[b]	293.83±23.38[a]	0.001

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.3　不同锌源及水平对生长肥育猪血清锌含量的影响

不同锌源及水平对生长肥育猪血清锌含量的影响见表3。由表可知，与对照组相比，饲粮添加40 mg/kg Zn-Met显著提高了生长肥育猪血清锌含量（$P<0.05$），40 mg/kg Zn-Met组

血清锌含量最高。这说明饲粮添加Zn-Met时，有机锌通过氨基酸和小肽的吸收通道加快了锌的吸收速率。

表3　不同锌源及水平对生长肥育猪血清锌含量的影响

Table 3　Effects of different zinc sources and levels on serum zinc content of growing-finishing pigs　　mg/L

试验阶段 Trial period	组别 Groups 对照 Control	40 mg/kg Zn-Met	40 mg/kg $ZnSO_4$	80 mg/kg $ZnSO_4$	*P* 值 *P*-value
30~60 kg	1.35±0.09[b]	1.75±0.12[a]	1.40±0.01[b]	1.45±0.02[b]	0.038
60~90 kg	0.89±0.01[b]	1.14±0.11[a]	0.91±0.05[b]	1.11±0.11[a]	0.001

2.4　不同锌源及水平对生长肥育猪器官、骨、毛锌沉积量的影响

不同锌源及水平对生长肥育猪器官、骨、毛锌沉积量的影响见表4。由表可知，与对照组相比，饲粮添加40 mg/kg Zn-Met或40、80 mg/kg $ZnSO_4$对生长肥育猪脾脏、胰脏和毛锌沉积量的影响均不显著（P>0.05），但显著提高了肝脏和骨锌沉积量（P<0.05）；但骨锌沉积量在各试验组之间差异不显著（P>0.05）。

表4　不同锌源及水平对生长肥育猪器官、骨、毛锌沉积量的影响

Table 4　Effects of different zinc sources and levels on zinc accumulations in organ, bone and hair of growing-finishing pigs　　mg/kg

项目 Items	组别 Groups 对照 Control	40 mg/kg Zn-Met	40 mg/kg $ZnSO_4$	80 mg/kg $ZnSO_4$	*P* 值 *P*-value
肝脏 Liver	106.03±6.56[c]	137.73±9.61[ab]	125.61±8.54[b]	147.03±10.83[a]	0.003
脾脏 Spleen	3.57±0.24	3.65±0.22	3.52±0.15	3.57±0.17	0.992
胰脏 Pancreas	1.56±0.10	1.58±0.08	1.57±0.15	1.54±0.01	0.997
骨 Bone	112.55±3.18[b]	134.43±2.52[a]	127.29±12.97[a]	136.58±7.69[a]	0.021
毛 Hair	38.99±2.71	38.22±2.63	38.17±3.32	38.65±2.58	0.993

2.5　不同锌源及水平对生长肥育猪肌肉锌沉积量的影响

不同锌源及水平对生长肥育猪肌肉锌沉积量的影响见表5。由表可知，与对照组相比，饲粮添加40 mg/kg Zn-Met或40、80 mg/kg $ZnSO_4$提高了背最长肌、肱二头肌、肩颈肉和肋腹肉锌沉积量，但差异均不显著（P>0.05），以40 mg/kg Zn-Met组肌肉锌沉积量最高。

表5　不同锌源及水平对生长肥育猪肌肉锌沉积量的影响

Table 5　Effects of different zinc sources and levels on muscle zinc accumulations of growing-finishing pigs　　mg/kg

项目 Items	组别 Groups 对照 Control	40 mg/kg Zn-Met	40 mg/kg $ZnSO_4$	80 mg/kg $ZnSO_4$	*P* 值 *P*-value
背最长肌 *Longissimus dorsi*	37.66±2.38	38.75±0.43	37.67±1.37	38.65±0.22	0.658
肱二头肌 Biceps brachii	50.97±2.57	53.44±4.58	52.71±1.81	53.04±2.88	0.655
肩颈肉 Boston butt	63.48±3.73	65.14±3.97	64.19±1.15	64.26±3.01	0.887
肋腹肉 Rib meat	42.66±2.06	44.87±3.47	41.65±1.39	43.11±2.63	0.256

3　讨　论

3.1　不同锌源及水平对生长肥育猪血清酶活性和锌含量的影响

本试验基础饲粮中的锌含量与前人研究的基础饲粮中的锌含量相符合[14-16]。基础饲粮饲料原料中的锌利用率低且存在形式不明，对本试验的血清酶活性、血清锌含量和组织器官锌沉积量的影响较小。

猪采食饲粮后，饲粮中的锌进入血液，因此血清锌含量可以在一定程度上反映锌的吸收率和利用率。Hill等[17]研究发现，饲粮添加500 mg/kg氧化锌（ZnO）时，血清锌含量未发生显著变化。Hahn等[18]也发现动物机体对锌的稳恒性调控有一个阈值，只有饲粮锌含量超过1 000 mg/kg时，血清锌含量才出现上升。饲粮锌添加水平对猪血清锌含量影响的报道结果不一，许多试验都表明饲粮添加高剂量锌时才显著提高血清锌含量[19-21]，但也有试验表明低剂量锌对血清锌含量影响显著[22-23]。本试验结果表明，低添加水平（40 mg/kg）Zn-Met显

著提高了生长肥育猪血清锌含量，且40 mg/kg Zn-Met组血清锌含量最高，这与葛桂花[24]、余增峰[25]研究的血清锌含量以有机锌源高于无机锌源的结果相一致，可能由于有机微量元素在小肠内可以利用氨基酸和小肽的吸收通道[26]，加快Zn-Met的吸收速率。

锌是体内多种酶的组成成分和特异性或非特异性激活因子。ALP是一种在碱性条件下具有较高活性的酶，在机体各组织和血液中广泛分布。因锌是合成ALP的必需金属离子，与该酶活性呈正相关，可通过测定血清ALP活性判断机体对锌的吸收和利用情况，血清ALP活性提高意味着机体对锌的利用率较高。大量试验表明，血清ALP活性与饲粮锌水平呈正相关，有机锌比无机锌血清ALP活性更高[27-29]。本试验结果与前人结果[27-29]相一致，这与血清锌含量密切相关，血清锌含量提高表明体内锌代谢旺盛，含锌酶活性增强。

ALT和AST是氨基酸代谢过程中的2个重要的氨基转移酶。ALT在催化α-酮戊二酸与天冬氨酸生成谷氨酸与草酰乙酸的反应过程中起氨基转移作用，AST在催化α-酮戊二酸与丙氨酸生成谷氨酸与丙酮酸的反应过程中起氨基转移作用[30]。ALT和AST主要存在于心肌细胞和肝细胞中，细胞受损时大量的ALT和AST会从细胞内逸出进入血液。而正常情况下，LDH主要存在于细胞的胞质液中，机体组织发生病变时引起细胞膜的通透性增强，细胞内的LDH才会进入血液[31-32]。心肌细胞中LDH和AST活性较高，ALT则主要分布于肝细胞中，动物生理机能处于正常情况时血清中的活性较低。本试验表明，与对照组相比，饲粮添加不同锌源降低了生长肥育猪的血清ALT、AST和LDH活性，以40 mg/kg Zn-Met组活性最低，说明饲粮添加锌特别是有机锌不会对猪的心脏和肝脏产生不利影响。

3.2　不同锌源及水平对生长肥育猪组织器官锌沉积量的影响

动物通过肠道吸收锌，经血液运往全身，先在肝脏、肾脏及胰脏、皮毛等组织器官中沉积，最后大部分锌被转移到骨骼中，只有少数沉积在肌肉、脑等组织中。

3.2.1　不同组织器官对锌沉积量的影响

肝脏是锌代谢的主要器官，胫骨是锌的存储器官。肝脏中的微量元素含量高且稳定，在

一定程度上可以反映出体内环境的微量元素水平，骨骼也是锌的快速交换贮存场所，能充分反映体内锌的沉积状况。本试验结果表明，脾脏、胰脏和毛对饲粮锌水平不敏感，肝脏和骨对饲粮锌水平敏感，且相比于脾脏、胰脏和毛等组织器官，肝脏和骨锌沉积量最高。这与Gupta[33]、董晓慧等[19]对大鼠，Roberson[34]、马雪云等[35]对鸡，徐振华等[36]对断奶肉兔的研究结果相一致，说明肝脏和骨在一定程度上能够较好的反映体内锌沉积状况。

3.2.2　同一组织的不同部位对锌沉积量的影响

本试验结果显示，同一类组织的不同部位，锌沉积量有差别，但差异不显著，这些差异可能与猪的生理机能和代谢水平的不同有关[37-38]。大量研究表明，饲粮添加锌对肌肉锌沉积量的影响无显著差异[19,22,39-40]，本试验结果与之一致，说明肌肉对饲粮锌水平不敏感，40 mg/kg Zn-Met组肌肉锌沉积量最高，这可能与Zn-Met较高的生物学利用率有关，有机锌比无机锌更易沉积在肌肉中。

4　结　论

饲粮添加40 mg/kg Zn-Met或40、80 mg/kg $ZnSO_4$可改善生长肥育猪血清酶活性、血清锌含量及肝脏和骨锌沉积量。本试验条件下，生长肥育猪饲粮添加40 mg/kg Zn-Met为宜。

参考文献：

[1]　刘怡菲,李俊格,王银学.锌在家兔生产中的作用[J].河北畜牧兽医,2000(9):34–35.

[2]　胡杰.微量元素锌对动物免疫的影响[J].中国动物保健,2004(2):27–28.

[3]　谢正军,朱叶萌,杜美丹,等.壳聚糖锌对断奶仔猪生长性能、血清激素和生化指标的影响[J].动物营养学报,2010,22(5):1355–1360.

[4]　曹春燕,王嘉,薛敏,等.锌源和水平对异育银鲫生长性能、组织锌沉积和抗氧化功能的影响[J].动物营养学报,2012,24(5):968–976.

[5]　CAO J,HENRY P R,GUO R,et al.Chemical characteristics and relative bioavailability of

supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants[J].Journal of Animal Science,2000,78(8):2039–2054.

[6] AO T,PIERCE J L,POWER R,et al.Effects of feeding different forms of zinc and copper on the performance and tissue mineral content of chicks[J].Poultry Science,2009,88(10):2171－2175.

[7] 王素仙,付学锋.氨基酸螯合锌在动物生产中的应用[J].饲料研究,2009(3):36–38.

[8] 刘兵,尚沁沁,熊平文,等.蛋氨酸锌的生物学功能及其在家禽生产中的应用[J].中国畜牧杂志,2015,51(1):73–76.

[9] 彭秋媛.维生素 A 及蛋氨酸锌对断奶仔猪血液抗氧化指标、免疫功能及肠道功能影响[D].硕士学位论文.大庆:黑龙江八一农垦大学,2016.

[10] 李杰.饲粮锌水平对肉鸡组织锌含量的影响[J].动物营养学报,1994,6(2):45–49.

[11] 张晶,沈景林,丁洪浩,等.蛋氨酸锌对吉戎兔体内锌、铜、铁沉积率的影响[J].东北农业大学学报,2008,39(9):66–69.

[12] 白彦.不同锌源及水平对商品肉兔生长性能及组织锌沉积的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2010.

[13] 曲湘勇,唐湘薇,魏艳红,等.不同锌源对绿壳蛋鸡产蛋性能和蛋黄锌含量的影响[J].中国饲料,2013(2):32–34.

[14]张纯,陈代文,丁雪梅,等.不同锌源对断奶仔猪生长性能和血液指标的影响[J].西南农业学报,2006,19(3):515–518.

[15]文超越,李勇,邢伟刚,等.饲粮减少矿物元素对育肥猪生长性能、肉品质、血清生化指标以及骨骼肌矿物元素含量的影响[J].动物营养学报,2017,26(2):597–604.

[16]张彩英,胡国良,郭小权,等.日粮锌源和锌水平对断奶仔猪免疫功能和抗氧化酶活性的影响[J].中国兽医学报,2011,31(9):1354–1357.

[17] HILL G M,MILLER E R,WHETTER P A,et al.Concentration of minerals in tissues of pigs

from dams fed different levels of dietary zinc[J].Journal of Animal Science,1983,57(1):130–138.

[18] HAHN J D,BAKER D H.Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacologic levels of zinc[J].Journal of Animal Science,1993,71(11):3020–3024.

[19] 董晓慧,韩友文,周桂莲,等.不同锌源生物学效价的研究[J].动物营养学报,2004,16(3):20–25.

[20] 丁小玲,汤继顺,王希春,等.日粮锌源和锌水平对断奶仔猪血清及组织铜、铁、锌沉积的影响[J].中国兽医学报,2010,30(2):262–265,270.

[21] 张彩英,郭小权,胡国良,等.日粮锌源和锌水平对断奶仔猪血清及组织铜、锌沉积的影响[J].江西农业大学学报,2011,33(1):96–99.

[22] 梁鸿雁,陈华,高宏伟,等.日粮不同锌水平对獭兔组织器官锌浓度的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2003,15(2):65–67.

[23] 蒋宗勇,刘小雁,蒋守群,等.43-63 日龄黄羽肉鸡锌需要量的研究[J].中国农业科学,2010,43(20):4295–4302.

[24] 葛桂花.蛋氨酸螯合锌对雏鸡的营养效果及内源锌排出量的测定[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,1992.

[25] 余增峰.烟酸锌对生长猪生产性能的影响及其吸收机制的研究[D].硕士学位论文.福州:福建农林大学,2010.

[26] SPEARS J W.Zinc methionine for ruminants:relative bioavailability of zinc in lambs and effects of growth and performance of growing heifers[J].Journal of Animal Science,1989,67(3):835–843.

[27] 王立新,王治华,卢文超,等.不同锌形式对仔猪生产性能及血液生化指标的影响[J].畜牧与兽医,2003,35(11):21–22.

[28] 汤继顺,吴金节,王希春,等.锌源和锌水平对断奶应激仔猪血清生化指标的影响[J].中国

兽医学报,2007,27(6):927–930,934.

[29] 王淑明,鞠贵春,张志明,等.不同锌源及锌水平对水貂血清生化指标和脏器中微量元素含量的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(9):17–21.

[30] 周顺伍,邹思湘,姜涌明,等.动物生物化学[M].3版.北京:中国农业出版社,2003:156–175.

[31] 周新,府伟灵.临床生物化学与检验[M].4版.北京:人民卫生出版社,2007:240–241.

[32] KORICHNEVA I.Zinc dynamics in the myocardial redox signaling network[J].Antioxidants & Redox Signaling,2006,8(9/10):1707–1721.

[33] GUPTA R P,VERMA P C,GUPTA R K P.Experimental zinc deficiency in guinea-pigs:biochemical changes[J].British Journal of Nutrition,1986,55(3):613–620.

[34] ROBERSON K D,EDWARDS H M, Jr.Effects of 1,25-dihydroxycholecalciferol and phytase on zinc utilization in broiler chicks[J].Poultry Science,1994,73(8):1312–1326.

[35] 马雪云,孙存孝,韩建秋.饲料锌水平对肉用仔鸡营养和代谢的某些影响[J].中国畜牧杂志,1997(4):30–32.

[36] 徐振华,李福昌.不同锌源对断奶肉兔组织器官锌浓度及血清碱性磷酸酶活性的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(5):44–46.

[37] 王秀武,王书,何晓敏.庄河大骨鸡不同部位肌组织及器官多种矿物质元素含量的测定[J].中国畜牧杂志,2002,38(5):12–14.

[38] 蒋瑞瑞,康相涛,孙桂荣,等.锌在固始鸡不同组织器官中沉积量的动态研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(7):12–16.

[39] SHAO X P,LIU W B,XU W N,et al.Effects of dietary copper sources and levels on performance,copper status,plasma antioxidant activities and relative copper bioavailability in Carassius auratus gibelio[J].Aquaculture,2010,308(1/2):60–65.

[40] 任战军,白彦,李发弟.不同锌源及水平对幼龄艾哥兔生长性能与组织锌沉积的影响[J].

草业学报,2014,23(1):283–290.

Effects of Different Zinc Sources and Levels on Serum Enzyme Activities and Tissue and Organ Zinc Accumulations of Growing-Finishing Pigs

NIU Xianxiu YANG Weiren* HUANG Libo ZHANG Chongyu XUE Feng SUN Jing

(College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: This trial was conducted to evaluate the effects of different zinc sources [zinc methionine (Zn-Met) or zinc sulfate ($ZnSO_4$)] and levels on serum enzyme activities and tissue and organ zinc accumulations of growing-finishing pigs. Thirty-two growing-finishing pigs (Duroc×Landrace×Large White) with similar body weight [(33.70±2.76) kg] were randomly divided into 4 groups with 8 replicates per group and 1 pig per replicate. The control group was fed a basal diet, while experimental groups were fed the basal diets supplemented with 40 mg/kg Zn-Met, 40 mg/kg $ZnSO_4$ and 80 mg/kg $ZnSO_4$ (calculate by zinc), respectively. There was a 7-day adaptation period and a 72-day experimental period. In addition, the experimental period was divided into two periods of 30 to 60 kg and 60 to 90 kg. The results showed as follows: 1) compared with the control group, dietary supplemented with 40 mg/kg Zn-Met significantly decreased the activities of alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST) and lactate dehydrogenase (LDH) in serum of growing-finishing pigs ($P<0.05$), significantly increased the serum alkaline phosphatase (ALP) activity ($P<0.05$); dietary supplemented with 40 mg/kg $ZnSO_4$ significantly decreased the activities of ALT and LDH in serum ($P<0.05$); dietary supplemented with 80 mg/kg $ZnSO_4$ significantly decreased the serum ALT activity ($P<0.05$), significantly increased the serum ALP activity ($P<0.05$). Besides, 40 mg/kg Zn-Met group got the

lowest activities of ALT, AST and LDH in serum, and the highest serum ALP activity. 2) Compared with the control group, dietary supplemented with 40 mg/kg Zn-Met significantly increased serum zinc content of growing-finishing pigs (P<0.05), and 40 mg/kg Zn-Met group got the highest serum zinc content. 3) Compared with the control group, dietary supplemented with 40 mg/kg Zn-Met or 40 and 80 mg/kg $ZnSO_4$ had no significant effects on the accumulations of zinc in spleen, pancreas, hair and muscle of growing-finishing pigs (P>0.05), while significantly increased the accumulations of zinc in liver and bone (P<0.05). In conclusion, dietary s supplemented with 40 mg/kg Zn-Met or 40 and 80 mg/kg $ZnSO_4$ can improve the serum enzyme activities, serum zinc content and accumulations of zinc in liver and bone of growing-finishing pigs. Under the condition of this experiment, the suitable dietary Zn-Met supplemental level is 40 mg/kg for growing-finishing pigs.

Key words: organic zinc; growing-finishing pigs; serum enzyme activities; zinc accumulations

---

*Corresponding author, professor, E-mail: wryang@sdau.edu.cn （责任编辑　武海龙）